
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЭКОНОМИКИ

УДК 62-51:614.2

ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ: НАПРАВЛЕНИЯ АНАЛИЗА И ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ¹

Статья поступила в редакцию 12.07.2015, в окончательном варианте 12.09.2015.

Брумштейн Юрий Моисеевич, кандидат технических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: brum2003@mail.ru

Захаров Дмитрий Александрович, кандидат медицинских наук, заместитель главного врача по оргметодработе, Александро-Мариинская областная клиническая больница, доцент Астраханского государственного университета, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: dmitrizahar@mail.ru

Сокольский Виталий Михайлович, кандидат технических наук, начальник отдела эксплуатации медицинской техники, Управление по материально-техническому обеспечению медицинских организаций Астраханской области, 414057, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Кубанская, 1, e-mail: sokolskiy_Vm@mail.ru

Рассмотрено понятие энергоэффективности (ЭЭ) деятельности медицинского учреждения (МУ). Обоснована необходимость контроля показателей ЭЭ и управления ими. Показана роль ЭЭ МУ в обеспечении медико-экономической эффективности ее деятельности, в повышении доступности и качества медицинской помощи населению, в создании комфортных условий для работы персонала, в поддержке бесперебойности эксплуатации медицинского и иного оборудования. Исследована структура потребляемых МУ энергетических и иных ресурсов; потенциальные возможности взаимозаменяемости видов энергоресурсов, источников их получения – с учетом нормативных, технологические и экономических ограничений. Проанализированы основные факторы, определяющие ЭЭ деятельности МУ, включая качество проектов для отдельных зданий и МУ в целом; качество строительства и ремонта зданий, инженерных коммуникаций на территориях МУ; особенности и ЭЭ применяемых в МУ систем теплоснабжения и кондиционирования воздуха; возможности использования энергосберегающих технологий при освещении зданий МУ и их территорий; способы снижения энергопотребления медицинским, вспомогательным и компьютерным оборудованием МУ. По каждому из этих направлений рассмотрены причины типичных недостатков существующего положения и их последствия; экономически эффективные меры по устранению недостатков, снижению рисков. Для различных типов медоборудования выполнены оценки долей затрат на потребляемые энергоресурсы в общей стоимости владения этим оборудованием. Показано, что для высокотехнологичного оборудования эти доли меньше. Предложен ряд показателей для количественных оценок ЭЭ деятельности МУ. Приведены примеры оценки этих показателей для конкретного МУ. Представлена математическая модель для оптимизации объемов использования энергоресурсов различных видов при наличии ограничений.

Ключевые слова: медицинские учреждения, используемые ресурсы, критерии энергоэффективности, менеджмент энергоэффективности, информационные технологии, медицинское оборудование, оптимальные решения, модели выбора

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ. Грант № 14-06-00279 «Разработка методов исследования и моделирования объемов/структуры интеллектуальных ресурсов в регионах России».

**POWER SAFETY ANALYSIS AND MANAGEMENT
OF MEDICAL INSTITUTIONS ACTIVITY**

Brumshteyn Yuriy M., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, ph. 8 (8512) 61-08-43, e-mail: brum2003@mail.ru

Zakharov Dmitriy A., Ph.D. (Medicine), deputy chief of the organizational and methodical work, Aleksandro-Mariinsky Regional Clinical Hospital, Associate Professor, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: dmitrizahar@mail.ru

Sokolskiy Vitaliy M., Ph.D. (Engineering), head of department of medical equipment operation, Administration for Material Support of the Medical Organizations in Astrakhan region, 1 Kubanskaya St., Astrakhan, 414057, Russian Federation, e-mail: sokolskiy_Vm@mail.ru

Authors considered concept of energy efficiency (EE) for activity of medical institution (MI). Need of EE indicators control and their management is proved. In article is shown role of MI EE in ensuring medic and economic efficiency of its activity, in increasing of availability and quality of medical care to the population, in creation of comfortable conditions for personnel work, in support of uninterrupted work of medical and other equipment. Authors researched structure of energy and other resources, consumed by MI; potential opportunities of types interchangeability for energy resources and sources of their receiving – taking into account legislative, technological and economic restrictions. In article are analyzed major factors, defining EE of MI activity, including quality of projects for certain buildings and «MI in general»; quality of construction and repairing of buildings, engineering communications in territories of MI; features and EE of systems for heat supply and air conditioning, applied in MI; possibilities of energy saving technologies usage when lighting buildings of MI and their territories; ways of decreasing energy consumption by medical, service and computer equipment of MI. For each of these directions are considered reasons of typical shortcomings of existing situation and their consequence; economically effective measures for elimination of shortcomings, decreasing risks. For various types of medical equipment authors are executed estimates for costs shares of consumed energy resources in total costs of equipment possession. It is shown that for the hi-tech equipment these shares are less. In article is offered several indices for EE quantitative estimates of MI activity. As an example this indices are calculated for concrete MI. Authors presents also optimization mathematical model for used volumes of different types of energy resources in the presence of restrictions.

Keywords: medical institutions, used resources, energy efficiency criteria, energy efficiency management, information technologies, medical equipment, optimum decisions, choice models

Доступность и качество медицинской помощи населению во многом определяют условия воспроизводства, наращивания и использования интеллектуальных ресурсов регионов [5], страны в целом. При этом медико-экономическая эффективность деятельности отдельных медицинских учреждений (МУ), систем здравоохранения регионов и страны в целом во многом определяются уровнями их энергоэффективности (ЭЭ). Однако вопросы менеджмента энергопотребления и ЭЭ применительно к МУ в существующей литературе рассмотрены недостаточно полно. Поэтому целью данной статьи является комплексный анализ указанной проблематики с учетом существующих реалий деятельности Российских МУ. При рассмотрении материала в качестве «базовой» организации в данной статье используется Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Астраханской области Александрo-Марининская областная клиническая больница (ГБУЗ АО АМОКБ), в которой работает один из авторов.

Общая характеристика проблематики статьи и видов энергоресурсов, потребляемых медучреждениями. Важность проблематики энергосбережения и ЭЭ подчеркивается специальным законом [19], причем эти два понятия в нем тесно связаны [8]. Методологические вопросы оценок ЭЭ отражены в ряде работ [2, 9, 26] – однако без учета специфики МУ. Существуют и программные средства для управления ЭЭ (например, Информационно-

аналитическая система контроля и управления энергосбережением ОАО «СИБУР Холдинг» – <http://www.prognoz.ru/sites/default/files/sibur.pdf>). Однако такие разработки ориентированы преимущественно на применение в промышленности.

Будем считать, что ЭЭ деятельности МУ определяется удельными (на одного пациента, врача и др.) энергозатратами на выполнение производственных функций МУ. При этом должны обеспечиваться необходимые уровни доступности и качества обслуживания пациентов, его медико-технологического уровня; соблюдаться уровни комфортности пребывания в МУ пациентов и условий деятельности медперсонала. Эти уровни могут определяться / задаваться нормативными документами общего характера, регламентирующими деятельность МУ, – включая условия их лицензирования; стандартами лечения, обязательными для бюджетных МУ; внутренними стандартами деятельности МУ; конкуренцией МУ за пациентов в рыночных условиях; требованиями медицинских страховых организаций и др. Отметим, что сейчас даже в бюджетных МУ возможен дифференцированный подход к уровням обслуживания пациентов – в т.ч. за счет создания платных палат повышенной комфортности.

Большие объемы энергоресурсов в МУ потребляются системами теплоснабжения и кондиционирования воздуха, освещения помещений и территорий. Кроме того, увеличивается и техническая оснащенность МУ России медицинским, вспомогательным, компьютерным и иными видами оборудования [1, 3], использующими энергоресурсы.

В процессе работы МУ непосредственно используют тепловую (отопление, горячее водоснабжение) и электрическую энергию. Номенклатура используемых в МУ энергоносителей (ЭН): природный газ (поступающий в МУ по газопроводам или сжиженный); бензин; дизельное топливо, мазут; в сельских МУ – также уголь, торфяные брикеты и дрова [4]. Далее мы к потребляемым энергоресурсам (ЭР) будем относить тепловую и электрическую энергию плюс перечисленные виды ЭН. Другие потребляемые МУ ресурсы: холодная вода; продукты питания (в стационарных МУ); расходные материалы для медицинского оборудования (МО), для других видов оборудования; расходные материалы для медпроцедур, выполняемых «вручную»; строительные материалы для ремонта зданий, помещений, инженерных сетей и пр. Отдельно отметим применение в МУ информационных (в т.ч. с доступом через Интернет), финансовых и трудовых ресурсов.

Анализ и управление использованием ЭР играют важную роль в обеспечении медико-экономической эффективности работы бюджетных и коммерческих МУ. Повышение их ЭЭ позволяет снизить финансовые затраты; уменьшить нагрузку на линии электропередач, на трансформаторные подстанции, сети горячего теплоснабжения и пр.; повысить комфортность пребывания пациентов в МУ, улучшить условия работы их персонала; обеспечить надежность (бесперебойность) эксплуатации медицинского, компьютерного и иного оборудования.

Основные направления решений по обеспечению ЭЭ работы МУ: адекватный учет факторов ЭЭ МУ при проектировании новых и реконструкции существующих зданий, систем доставки к ним ЭР; оптимизация выбора ЭР – в отношении их структуры, поставщиков и пр.; обеспечение мониторинга потребления ЭР в МУ; меры по экономии (ограничению потребления) ЭР – в т.ч. за счет внедрения энергосберегающих технологий, замены оборудования, изменения режимов его работы и пр.

Соотношение объемов потребления по видам ЭР отличается для разных типов МУ и времен года. При этом доли потребления энергии (в Джоулях) и доли оплат за них различны – в силу разницы в ценах на ЭР. В России в большинстве регионов в холодное время года для МУ велика доля затрат на горячее теплоснабжение и освещение, а летом – затрат на кондиционирование воздуха. Минимумы энергопотребления (и затрат на них) в большинстве МУ приходятся на весну и начало осени.

Отопление зданий и кондиционирование воздуха в подразделениях стационарных МУ, обеспечивающих круглосуточное обслуживание пациентов, должно быть непрерывным. При этом диагностические и лечебные мероприятия (кроме неотложных) в большинст-

ве МУ проводятся в 1–1,5 смены и лишь в рабочие дни. В амбулаторных МУ кондиционирование воздуха может включаться лишь на период их работы в жаркое время года, а отопление в холодный период должно действовать непрерывно (однако его уровень может снижаться в нерабочие периоды времени).

Резко континентальный климат в большинстве регионов России (холодная зима и жаркое лето) способствует повышению энергозатрат на отопление и кондиционирование воздуха по сравнению, например, с большинством стран Европы. Как следствие, велики затраты на энергообеспечение деятельности Российских МУ – это влияет и на их ЭЭ. Поэтому с позиций повышения ЭЭ деятельности целесообразны такие меры: «интенсификация» использования помещений и оборудования МУ (прежде всего, высокотехнологичного) – в т.ч. за счет организации работы во вторую и третью смены, в выходные и праздничные дни; перенос акцентов со стационарной медпомощи на менее энергозатратную амбулаторную. Однако пока в России количество коек на душу населения в стационарных МУ выше, чем в большинстве развитых стран.

Классификация видов МУ с точки зрения особенностей и объемов их энергопотребления была нами уже рассмотрена ранее [4]. Это стационарные МУ, имеющие собственную территорию, на которой расположены одно или большее количество зданий; автономные МУ (включая амбулаторные), размещенные в отдельных зданиях или в нижних этажах зданий жилого или иного назначения; медицинские кабинеты в зданиях офисного или другого назначения; аптечные учреждения (аптеки и аптечные киоски). Размещение МУ в зданиях «немедицинского» назначения (например, поликлиник на первых этажах жилых зданий) может обеспечивать снижение энергозатрат МУ по сравнению с вариантом отдельно стоящих зданий. Основные причины: уменьшение удельных (в расчете на один квадратный метр производственных помещений) «площадей контактов» МУ с наружным воздухом; снижение воздействия солнечной инсоляции через крыши зданий и пр. В связи с последним направлением отметим такое интересное решение как создание «зеленых крыш» [18]. Однако, по крайней мере, ранее хирургические отделения во многих МУ проектировались на верхних этажах и для них специально предусматривались «остекленные участки крыш» – для обеспечения освещения на случай отключения электроэнергии. Наименьшая ЭЭ, очевидно, у аптечных киосках в отдельно стоящих павильонах. Они традиционно имеют большую площадь остекления.

В крупных МУ используется энергия, особенно тепловая энергия (ТЭ), произведенная как вне их территорий (получаемая по «договорам энергоснабжения» [12]), так и на этих территориях – прежде всего в собственных котельных. Оплата внешним производителям ТЭ осуществляется исходя из количества тепла, поданного на «периметр территории МУ», а не в отдельные здания. При этом температура жидкости, отходящей с территории МУ, при расчетах с поставщиками ТЭ обычно не учитывается.

«Собственное производство» ТЭ на территориях МУ улучшает их энергобезопасность за счет снижения зависимости от «внешних источников». Однако при этом может снижаться ЭЭ – из-за более высокой (по сравнению с внешними источниками) стоимости выработки ТЭ. В городах использование в МУ собственных котельных требует выполнения ряда жестких экологических требований. Как следствие, новые котельные для МУ часто проектируются на газовом топливе. Это приводит к высокой себестоимости производства ТЭ (выше, чем при использовании мазута; приобретения ТЭ у поставщиков извне МУ).

В мелких МУ, расположенных вне городов, доля используемых ЭР «собственного производства» может составлять вплоть до 100 %.

Для доставки к зданиям с целью отопления ТЭ (а также горячей воды), получаемой из внешних источников теплоснабжения или от собственных котельных, применяются специальные трубопроводы. При их проектировании надземное расположение допускается только в порядке исключения – при наличии соответствующих обоснований. Подземные

трубопроводы теплоснабжения зданий располагаются в специальных лотках, причем обычно в «коридоре» глубин порядка 1–1,2 м от поверхности земли. Во многих регионах России это меньше, чем глубина промерзания грунта. Поэтому в зимний период длительные перемены в подаче горячей воды по таким трубопроводам могут приводить к замерзанию жидкости в трубопроводах и их разрывам.

Значительные потери энергии из трубопроводов теплоснабжения (особенно надземных) возможны из-за недостаточной теплоизоляции – в т.ч. из-за ее механических повреждений; утечки горячей жидкости через неплотности соединений труб, свищи в них и пр. Другие возможные причины высоких уровней теплопотерь из трубопроводов теплоснабжения: малая плотность расположения зданий на территориях МУ, низкая этажность зданий; «неудобные» места расположения зданий с точки зрения прокладки трубопроводов. В силу этих причин величина относительной (в расчете на 1 м² производственных площадей) протяженности трубопроводов отопления на территориях МУ вне зданий может быть велика. Рост этого показателя увеличивает теплопотери в системах доставки тепла к зданиям и, как следствие, снижает ЭЭ деятельности МУ.

Для повышения ЭЭ работы МУ «отработанная» (со сниженной температурой) горячая вода систем отопления зданий может использоваться для обогрева тех помещений, где допускается более низкая температура, чем комфортная для человека (склады, теплицы и пр.). Однако это требует усложнения систем распределения ТЭ.

Иногда в МУ применяются локальные системы отопления отдельных зданий на основе подогреваемых газовыми горелками или электроэнергией котлов – от них горячая вода по трубопроводам «разводится» на все этажи / помещения зданий. Аналогичные решения используются и при проектировании коттеджей [17], а в некоторых случаях и многоквартирных жилых зданий (котлы устанавливаются в каждой из квартир [22]).

Электроэнергию МУ обычно получают из внешних источников – электростанций или теплоэлектростанций. При этом если ТЭ применяется только для отопления зданий, то электроэнергия может использоваться для различных целей: обеспечение работы оборудования, средств сигнализации и связи; освещение помещений и территорий МУ; поддержание необходимых уровней грунтовых вод на территориях МУ; «производство холода» – в т.ч. в холодильниках, системах кондиционирования воздуха и пр.; нагрев воздуха в помещениях МУ. В последнем случае стоимость одной произведенной «калории тепла» обычно значительно выше по сравнению с системами отопления зданий горячей водой – даже если МУ получают электроэнергию от поставщиков по льготным тарифам [4].

Собственное производство электроэнергии не характерно для городских МУ. Дизель-генераторы применяются лишь как резервные источники. Теоретически на территориях МУ вместо котельных могут использоваться «мини-ТЭЦ», которые бы вырабатывали не только горячую воду, но и электроэнергию. Однако это обходится достаточно дорого и потому на практике не используется. Выработка в МУ электроэнергии с использованием солнечных панелей (СП) и ветроэлектрогенераторов возможна только для организаций, имеющих собственную территорию или хотя бы собственные здания. Пока такое производство электроэнергии обходится значительно дороже, чем получение ее традиционными методами [4, 15]. Поэтому у потребителей пока нет экономической заинтересованности во внедрении указанных новых технологий. Солнечная энергия может также непосредственно использоваться для теплоснабжения зданий [7] и для производства «холода» в системах кондиционирования воздуха МУ [24].

Газоснабжение городских МУ осуществляется обычно от сетей общего пользования населенных пунктов, работающих на среднем давлении. При этом какие-то резервные емкости для газа на территориях МУ не проектируются и не эксплуатируются. В небольших МУ, расположенных вне городов, источником газа могут быть газобаллонные станции.

Для обеспечения горюче-смазочными материалами (ГСМ), включая бензин, дизтопливо, мазут, могут применяться как коммерческие заправки, так и собственные емкости, размещенные на территориях МУ. Последний вариант улучшает энергобезопасность деятельности МУ, но часто не может быть реализован из-за нормативных требований. Для полноты рассмотрения материала отметим также затраты МУ на закупку солевых батареек (однократного применения), а для МО и компьютерного оборудования – аккумуляторов. При одинаковых форм-факторах переход от одноразовых батареек к аккумуляторам может снизить затраты МУ.

Общая площадь отапливаемых помещений на территории ГБУЗ АМОКБ в 2014 г. составляла 62 593 м², а территории занимаемой организацией – 100 529 м². Высокое отношение первой величине ко второй (0,623) достигнуто за счет введения в действие многоэтажных зданий и потенциально способствует лучшей ЭЭ организации.

Анализ факторов, влияющих на энергоэффективность работы медучреждений и возможных решений по ее улучшению. В настоящее время в России новые «медицинские комплексы» (состоящие из нескольких зданий) проектируются и строятся достаточно редко. Значительно чаще выполняется проектирование и строительство дополнительных зданий МУ, пристроек к зданиям; реконструкция существующих зданий – в том числе с изменением их целевого назначения.

При проектировании новых зданий МУ или реконструкции существующих требования ЭЭ обязательно учитываются в проектах, причем с течением времени соответствующие нормы постепенно ужесточаются [21]. Возможные проектные решения регламентируются в отношении теплоизоляции стен и крыш зданий по «тепловому сопротивлению» [25]; максимальной доли площади поверхности зданий, которая может быть использована для остекления и пр. Качество соблюдения строительными организациями предусмотренных решений по теплоизоляции зданий контролируется проектировщиками в порядке авторского надзора.

Строительство новых зданий вплотную к существующим (пристроев) потенциально обеспечивает повышение ЭЭ [20] за счет уменьшения показателя «площадь поверхности здания контактирующей с наружным воздухом, приходящейся на 1м² производственных помещений» (обозначим как Ξ). Увеличение этажности зданий МУ потенциально способствует также энергосбережению за счет снижения Ξ (площадь крыши при росте этажности сохраняется постоянной). Однако по существующим нормам многоэтажные здания МУ должны быть оборудованы лифтами, а их эксплуатация значительно увеличивает энергопотребление зданий [20].

В существующих зданиях МУ традиционные двойные окна часто заменяются на стеклопакеты. Это повышает «тепловое сопротивление» окон, уменьшает величину щелей. Как следствие, снижаются потери тепла из зданий зимой и холода (при кондиционировании воздуха) летом.

В зданиях МУ старой постройки для отопления используются чугунные батареи, покрытые специальной термостойкой краской. Они достаточно массивные, имеют малую поверхность теплоотдачи. Современные отопительные приборы в виде «пластинчатых радиаторов» имеют меньшую массу, большую теплоотдачу и возможности ее регулирования, потенциально позволяют работать с теплоносителями меньшей температуры [13].

В рамках аудита энергопотребления для обнаружения мест утечек тепла зимой часто используют тепловизионную съемку зданий (с фронта, с тыла, боковых стен) [23]. Это позволяет в первоочередном порядке принимать необходимые меры для участков зданий (помещений), дающих большие утечки тепла. Тепловизоры дают также возможность определить локальные участки «перегрева» МО и вспомогательного оборудования.

Типичное решение по снижению потерь тепла на входах в здания МУ в зимний период – использование «тепловых завес» (пушек). Дополнительные расходы, связанные с по-

догревом воздуха для них, окупаются не только за счет снижения теплотерь, но и исключения сквозняков, которые могут отрицательно влиять на пациентов и персонал МУ. С позиций ЭЭ более эффективными могли бы быть тамбурные входы в здания. Однако в силу особенностей деятельности МУ они почти не применяются.

В ряде МУ создаются закрытые переходы между зданиями – в том числе теми, которые были построены ранее. Цели создания таких переходов: уменьшение потерь тепла / холода при входах и выходах людей из зданий; обеспечение комфортности транспортировки пациентов и перемещения персонала; улучшение санитарно-гигиенического состояния помещений МУ за счет уменьшения «заноса» грязи на обуви персонала и пациентов с территории МУ. Такие переходы могут быть трех типов. (1) Наземные – наиболее дешевые в отношении строительства. Однако они могут блокировать проезд транспорта и передвижение пешеходов на территориях МУ. Поэтому такой тип переходов применяется ограниченно – только между близко расположенными зданиями. (2) Подземные – не мешают передвижению транспорта. Однако их создание имеет ряд минусов: дороговизна; нередко – необходимость «перекладки» заглубленных инженерных коммуникаций; необходимость обеспечения постоянного искусственного освещения, возможно – вентиляции воздуха; при высоких уровнях грунтовых вод для такого типа переходов необходимы непрерывно действующие дренажные системы и пр. (3) Надземные переходы обычно выполняются на уровне 2–3 этажей зданий на трубчатых опорах, не мешающих проезду транспорта. Недостатки: высокие требования к теплоизоляции, т.к. они контактируют с воздухом по всем четырем сторонам поперечного сечения (при этом здания, деревья и пр. не защищают такие переходы от ветра); более высокая стоимость строительства по сравнению с наземными переходами; обычно – негативное влияние на архитектурный облик зданий и территорий МУ. В ГБУЗ АО АМОКБ был выбран третий вариант строительства переходов (надземные), что позволило за достаточно короткий промежуток времени связать ими большинство зданий организации.

При проектировании новых зданий МУ обычно предусматриваются централизованные системы кондиционирования воздуха, чаще всего расположенные на крышах. Это более экономично по сравнению с установкой сплит-систем для отдельных помещений или групп помещений (для существующих зданий последние решения используются вынужденно). Применение в МУ «брызговых бассейнов» (фактически градирен) для отвода тепла из систем кондиционирования воздуха для МУ не характерно.

Зашторивание окон в помещениях на солнечных сторонах зданий в МУ применяется часто, но специальные светоотражающие материалы в жалюзи не используются. Для южных регионов России решением по снижению нагрева зданий летом через крыши (особенно близкие к плоским) могло бы быть временное размещение на них светоотражающих панелей – при достаточном закреплении их с учетом ветровых воздействий.

С целью экономии электроэнергии в офисных зданиях МУ и некоторых типах помещений для иных зданий может применяться автоматическое отключение освещения при отсутствии перемещений людей в течение какого-то времени (в коридорах, в отдельных помещениях и пр.). Однако относительно низкая надежность срабатывания таких устройств пока препятствует их использованию в МУ. Более гибкий вариант (по сравнению с включением/выключением) – автоматическая ступенчатая или плавная регулировка искусственного освещения помещений – с учетом времени дня, яркости естественного (наружного) освещения и пр. Для освещения территорий МУ и подсветки их зданий в вечернее и ночное время могут применяться автоматизированные решения [10]. Такое освещение обеспечивает возможности передвижения людей и транспорта; снижает уровни криминальных угроз, иногда выполняет эстетические функции. По крайней мере, в высокотехнологичных МУ управление освещением помещений и территорий централизовано и автоматизировано [6, 14].

Для компьютерного оборудования (включая ПЭВМ, принтеры и пр.) существуют технологии, автоматически переводящие эти устройства в «спящий режим» или «гасящие» мониторы – при отсутствии работы. В то же время в МО «спящие режимы» обычно не пре-

дусмотрены. Более того, некоторые виды МО (например, системы охлаждения для магнито-резонансных томографов) нежелательно выключать, если в конкретный момент времени исследования не проводятся. Таким образом, основные резервы повышения ЭЭ МО обычно состоят в его замене на модели с меньшим уровнем энергопотребления или в увеличении загрузки МО – особенно того, которое нельзя выключать. Специально отметим энергосберегающий эффект от использования в МО встроенных жидкокристаллических дисплеев для отображения информации, а в ряде случаев – и для сенсорного управления. Применение полифункционального МО обычно позволяет обеспечить более высокий коэффициент использования оборудования – по сравнению с несколькими единицами МО меньшей функциональности. Однако более функциональное МО обычно и более дорогое.

Определить долю энергопотребление МО в общих затратах МУ на ЭР достаточно сложно. Ориентировочные оценки для стационарных МУ, выполненные авторами статьи, дают величины в несколько процентов – с учетом «обеспечивающих» энергозатрат на отопление, освещение, кондиционирование воздуха и пр. тех помещений, где расположено это МО. Для амбулаторных МУ эти доли могут быть еще ниже. Поэтому замена МО обычно не является главным резервом увеличения ЭЭ МУ.

Целевые затраты на повышение ЭЭ МУ обычно окупаются за период в несколько лет и более. При этом «положительные эффекты» могут соответствовать не только уменьшению потребления ЭР, но и улучшению комфортности условий для пациентов и персонала МУ, увеличению количества пациентов в коммерческих МУ и пр.

Представляет интерес сравнение долей $\{D_i\}_{i=1...I}$ затрат на энергообеспечение единиц МО (ЕМО) $\{Z_i^{(ЭР)}\}_{i=1...I}$ в общих стоимостях владения $\{C_i^{(Бл)}\}_{i=1...I}$ этими оборудованием (здесь I – общее количество рассматриваемых видов МО). Для D_i было принято:

$$D_i = (Z_i^{(ЭР)} / C_i^{(Бл)}) \times 100\% \quad (1)$$

$$Z_i^{(ЭР)} = P_i \mu_i C_i^{(ЭР)} (24 \times 365.25) \quad (2)$$

$$C_i^{(ЭР)} = M_i C^{(1)}, \quad (3)$$

где P_i – расчетная продолжительность эксплуатации (лет); μ_i – среднегодовая доля времени, когда ЕМО i -ого вида находится во включенном состоянии (доли единицы) – с учетом того, большинство ЕМО в выходные и праздничные дни не используются; $C_i^{(ЭР)}$ – стоимость для ЕМО энергозатрат за час фактической эксплуатации; \dot{I}_i – потребляемая мощность для ЕМО i -ого вида; $C^{(1)}$ – стоимость одного киловатт-часа электроэнергии (мы приняли ее равной 3.62 руб., хотя, по крайней мере, для крупных МУ действуют более льготные тарифы). Для $C_i^{(Бл)}$ было принято:

$$C_i^{(Бл)} = Z_i^{(Buy)} + Z_i^{(ЭР)} + P_i (C_i^{(Per)} + C_i^{(SO)} + C_i^{(Dr)}), \quad (4)$$

где $Z_i^{(Buy)}$ – стоимость закупки ЕМО (тыс. руб.) – на 01.07.2015; $C_i^{(Per)}$ – затраты на оплату труда медперсонала, работающего с ЕМО (за год эксплуатации ЕМО) плюс отчисления с этой зарплаты в социальные фонды; $C_i^{(SO)}$ – затраты на сервисное обслуживание ЕМО, а также расходные материалы, необходимые для ее использования (на год эксплуатации); $C_i^{(Dr)}$ – «другие обеспечивающие затраты», включая «амортизацию помещений», использование систем отопления, кондиционирования воздуха и пр. (за год эксплуатации). Приводимые ниже оценки сделаны нами исходя из паспортных данных рассматриваемого и аналогичного МО; реалий использования ЕМО в Российских МУ. При этом мы учитывали такие

факторы: различия в количестве персонала, обслуживающего разные ЕМО; разницу в оплате персонала врачей и медсестер; возможность одновременной работы медперсонала с несколькими ЕМО; различия в фактических площадях помещений, занимаемых ЕМО (включая места размещения пациентов) и т.д.

При расчетах стоимостей сервисного обслуживания МО, эксплуатируемого в пределах паспортных (расчетных) продолжительностей эксплуатации, авторы руководствовались типичными расценками, приведенными в таблице 1. Если МО эксплуатируется за пределами расчетных сроков, то эти нормативы значительно увеличиваются.

Таблица 1

Типичные стоимости ежегодного сервисного обслуживания МО с учетом расходных материалов и комплектующих (в процентах от покупных стоимостей ЕМО) – для исправной техники, которая еще не выработала эксплуатационный ресурс

Стоимость ЕМО (млн руб.)	До 0,5	От 0,5 до 1	От 1 до 2	От 2 до 3	Более 3
% от стоимости ЕМО	10	5	2	1	0.5

Авторы считали, что стоимость сервисного обслуживания за первый год включена в гарантийные обязательства (которые уже заложены в продажную цену ЕМО). Поэтому эта стоимость не учитывалась.

При расчетах «других обеспечивающих затрат» авторы ориентировались на типичные стоимости аренды 1м² помещений (включая отопление, освещение, вывоз мусора, расходы на охрану зданий и пр.), по которым коммерческие МУ могут получать в пользование помещения на первых этажах зданий в г. Астрахани (700 руб. за м² в месяц). В отношении себестоимости владения МУ производственными площадями эта величина завышенная, т.к. в стоимость аренды закладываются налоги, уплачиваемые арендодателями и их доходы. Поэтому прием для МУ усредненную себестоимость владения 1м² равной 500 руб. / за месяц/

Для таблицы 2 были выбраны типичные ЕМО разного назначения: 1 – рентгеновская система Siemens AXIOM Iconos 200; 2 – рентгеновский компьютерный томограф Siemens Sensation 16; 3 – ультразвуковой сканер Philips iU 22; 4 – аквадистиллятор электрический ДЭ-4М; 5 – камера дезинфекционная ВФЭ-2/09; 6 – электрокардиограф 3-канальный ЭКЗТ-01; 7 – аппарат УВЧ-60. Для позиций 1–3 данные по стоимостям взяты с сайта <http://radio-med.ru/>; для позиций 4–7 (по стоимости и мощности) – с сайта www.slavmed.ru. Даты обращения в обоих случаях 01.07.2015.

Таблица 2

Сравнение долей затрат на непосредственное энергообеспечение работы различных типов ЕМО в общей стоимости владения ими

№	$Z_i^{(Buy)}$ (тыс. руб.)	P_i (лет)	μ_i	M (Вт)	$Z_i^{(ЭР)}$ тыс. руб.	$C_i^{(Per)}$ тыс. руб.	За год эксплуатации			D_i (%)
							$C_i^{(SO)}$ тыс. руб.	$C_i^{(Dr)}$ тыс. руб.	$C_i^{(Bl.)}$ тыс. руб.	
1	2150,5	10	0,45	2000	70,1	130	21,5	50	9721	1,75
2	14950	10	0,5	4000	280,5	380	149,5	100	11431	1,34
3	5600	10	0,25	800	84,2	234	56	50	11984	0,98
4	23,7	5	0,4	3000	315,6	20	2,37	5	494,3	69,9
5	119	5	0,2	10000	2103,8	30	11,9	10	2612,8	86,7
6	25,9	5	0,1	10	0,35	35	2,59	1	286,3	0,16
7	45,0	5	0,15	250	17,5	27	4,5	2	352,5	7,86

Высокие доли затрат на энергообеспечение характерны для большинства видов дезинфекционного (стерилизационного) оборудования – это говорит о приоритетности решения для них задач обеспечения ЭЭ. Для высокотехнологичного МО, несмотря на достаточно высокое энергопотребление, эти доли невысоки – из-за более высокой покупной стоимости; значительных затрат на оплату персонала, сервисное обслуживание и пр. Для физиотерапевтического оборудования доли затраты на энергообеспечение могут составлять от нескольких процентов до нескольких десятков процентов – для ИК-облучателей, электросаун и пр.

Показатели для количественной оценки энергозатрат и энергоэффективности деятельности медучреждений. В общем случае оценки ЭЭ возможны для следующих целей: сравнение показателей работы МУ, сопоставимых по направлениям и / или объемам деятельности; контроль изменения ЭЭ работы одних и тех же МУ во времени – как в различные периоды года, так и за ряд лет; оценка ЭЭ деятельности системы здравоохранения регионов и ее изменения во времени.

Оценки ЭЭ деятельности МУ могут делаться на основе энергетических и стоимостных (рублей) единиц. В первом случае целесообразно «приведение» всех видов потребляемых ЭР к Джоулям. Калории потребленной тепловой энергии переводятся в джоули с коэффициентом 4,1868; киловатт-часы использованной электроэнергии – с коэффициентом 3.6×10^6 . Для ЭН перевод их массы в энергетические единицы принято осуществлять с учетом «теплотворной способности». По данным, взятым 01.06.2015 с сайта <http://www.ecoles-nn.ru/tablitisa-teplotvornosti/>, 1 кг автомобильного бензина «соответствует» 44×10^6 Дж; мазута – 40.6×10^6 Дж; дизтоплива (солярки) – 43.12×10^6 Дж; природного газа (сжиженного) – 45.2×10^6 Дж; угля каменного (влажность 100 %) – 27.0×10^6 Дж; торфобрикетов (влажность 15 %) – 17.58×10^6 Дж; высушенной древесины (влажность 20 %) – 14.24×10^6 Дж; щепы – 10.93×10^6 Дж.

Подчеркнем, что «извлечение» из энергии из ЭН требует затрат на строительство / эксплуатацию сооружений, использование оборудования, зарплату персонала, на «экологические платежи» и пр. В общем случае стоимостные оценки ЭР должны учитывать различия в ценах для видов энергии и / или ЭН; изменения цен во времени (под влиянием факторов рыночной конъюнктуры); инфляционные поправки (например, на основе использования коэффициентов дисконтирования). В таблице 3 дана сводка округленных данных по потреблению ЭР ГБУЗ АМОКБ в 2014 г.

Таблица 3
Характеристика объемов потребления ЭР и расходов на них ГБУЗ АМОКБ в 2014 г.

Вид ЭР	ВСЕГО	Электро-энергия	Тепловая энергия	ГСМ (бензин и дизтопливо)
Тыс. кВт-часов		7231		
Гигакалорий			10824	
Тыс. литров				75
<i>Энергия в Джоулях</i>	$7,38 \times 10^{13}$	$2,60 \times 10^{13}$	$4,53 \times 10^{13}$	$0,25 \times 10^{13}$
% от «энергии в Джоулях»	100	35,25	61,37	3,38
<i>Затраты на ЭР (млн руб.)</i>	47,56	29,26	15,53	2,78
% от затрат на ЭР	100	61,52	32,65	5,83

Примечания. 1. Тепловая энергия включает в себя горячее водоснабжение. 2. В общем объеме потребления ГСМ, выраженного в «литрах», доля бензина (марок 92 и 95) составила 80 %. 3. Природный газ в АМОКБ в 2014 г. не применялся.

Отметим, что для электрической и тепловой энергии доли «в джоулях» принципиально отличаются от долей оплаты (руб.) за эти ЭР.

В дальнейших расчетах мы будем использовать суммарный показатель затрат (47,56 млн руб.), что соответствует примерно 5 % общей суммы расходов АМОКБ за 2014 г. Однако эта доля будет значительно выше, если добавить обеспечивающие затраты на поддержание работоспособности инженерных коммуникаций (по электрической и тепловой энергии) на территории АМОКБ и в зданиях; стоимость осветительного оборудования, приборов учета и пр.; зарплату сервисного персонала и пр.

Потребление электроэнергии имело максимум в 920 тыс. кВт-часов в январе 2014 г – из-за повышенных энергозатрат на освещение и отопление. Два локальных минимума (апрель – 470 тыс. кВт-часов и октябрь – 442 тыс. кВт-часов) связаны с периодами, когда энергозатраты на кондиционирование воздуха, освещение и нагрев помещений были малы.

Типичный ежемесячный расход ТЭ (включая горячее водоснабжение) составлял зимой порядка 2200 Гкал, а летом – 170 Гкал.

При оценках ЭЭ МУ целесообразна нормировка абсолютных значений «количества израсходованных ЭР» и «затрат, обеспечивающих получение этих ЭР» на различные величины.

При нормировке на общее количество сотрудников МУ имеем: $R_{com}^{(\ominus)}$ – суммарный расход ЭР на одного сотрудника МУ (джоулей / год) и $R_{com}^{(ден)}$ – затраты на все виды ЭР в расчете на одного сотрудника МУ (тыс. руб. / год):

$$R_{com}^{(\ominus)} = V^{(\ominus)} / N_{com} \text{ и } R_{com}^{(ден)} = V^{(ден)} / N_{com}, \quad (5)$$

где $V^{(\ominus)}$ – суммарный объем ЭР (в джоулях), израсходованный МУ за год; N_{com} – средняя численность сотрудников МУ за год; $V^{(ден)}$ – суммарный объем денежных средств, израсходованных за год на получение ЭР. Для АМОКБ при среднегодовой численности сотрудников в 2735 чел. (здесь и далее за 2014 г.) эти показатели составили: $R_{com}^{(\ominus)} = 27 \times 10^9$ Дж / сотрудника; $R_{com}^{(ден)} = 17390$ руб. / сотрудника.

При нормировке на количество только медперсонала в АМОКБ получаем показатели: $R_{медп}^{(\ominus)}$ – суммарный расход ЭР на одного медработника МУ [джоулей / год]; $R_{медп}^{(ден)}$ – затраты на все виды ЭР в расчете на одного медработника [тыс. руб. / год]. Для АМОКБ при количестве медперсонала в 1495 чел. эти показатели составили $R_{медп}^{(\ominus)} = 49,4 \times 10^9$ Дж / медработника; $R_{медп}^{(ден)} = 31810$ руб. / медработника.

При нормировке энергопотребления только на количество врачей в МУ (для АМОКБ – 557) будем иметь соответственно пару показателей $R_{врач}^{(\ominus)} = 132,59 \times 10^9$ Дж / медработника и $R_{врач}^{(ден)} = 85390$ руб. / медработника.

Однако часть персонала МУ (в т.ч. и врачи) могут в порядке внутреннего совместительства работать более чем на одну ставку. Тогда целесообразна нормировка на «количество ставок», а не на фактическое количество персонала. При этом аналогами последних шести показателей будут соответственно $R_{com_c}^{(\ominus)}$, $R_{com_c}^{(ден)}$, $R_{медп_c}^{(\ominus)}$, $R_{медп_c}^{(ден)}$, $R_{врач_c}^{(\ominus)}$, $R_{врач_c}^{(ден)}$, где последний символ нижнего индекса («с») указывает на количество ставок. Для АМОКБ при среднегодовых количествах ставок «всего», «медперсонала» и «врачей» в 2471, 1432 и 540 единиц имеем соответственно: $R_{com_c}^{(\ominus)} = R_{com}^{(\ominus)} = 29,89 \times 10^9$ Дж / ставку, $R_{com_c}^{(ден)} = 19250$ руб. / ставку, $R_{медп_c}^{(\ominus)} = 51,57 \times 10^9$ Дж / ставку, $R_{медп_c}^{(ден)} = 33210$ руб. / ставку, $R_{врач_c}^{(\ominus)} = 136,76 \times 10^9$ Дж / ставку, $R_{врач_c}^{(ден)} = 88070$ руб. / ставку.

Еще одним вариантом может быть нормировка энергопотребления на величины отапливаемых производственных площадей зданий МУ (для них обычно осуществляется также кондиционирование воздуха и освещение). В этом случае имеем показатели: $R_{от_плouc}^{(\ominus)}$ (с размерностью «Джоуль / (кв. метр × год)») и $R_{от_плouc}^{(ден)}$ (размерность – «рублей / (кв. метр × год)»). Для АМОКБ $R_{от_плouc}^{(\ominus)} = 1.18 \times 10^9$ Дж / м² и $R_{от_плouc}^{(ден)} = 760$ руб. / м². Аналогичные показатели для территории АМОКБ составляют 0.73×10^9 Дж / м² и 470 руб. / м².

Для чисто стационарных МУ при нормировке потребления ЭР на «количество коек» получаем пару показателей $R_{койка}^{(\ominus P)}$ (с размерностью [джоуль / (койка × год)]) и $R_{койка}^{(ден)}$ (с размерностью [тыс. рублей / (койка × год)]). Для АМОКБ при общем количестве 1241 койка имеем $R_{койка}^{(\ominus P)} = 59.51 \times 10^9$ Дж / (койку × год); $R_{койка}^{(ден)} = 38320$ руб. / (койку × год).

На практике использование коек может отличаться от 100 % по отношению к нормативному (для АМОКБ при технологическом нормативе использования коек в 332 дня в год их фактическое использование в 2014 г. составило 102,5 %). Тогда вместо «фактического количества коек» (K) лучше использовать приведенный показатель:

$$K^{(прив)} = \lambda K, \quad (6)$$

где λ – коэффициент использования коечного фонда (доля от «1» – в данном случае 1,025). При нормировке на «приведенное количество коек» вместо двух последних показателей будем иметь соответственно $R_{койка_пр}^{(\ominus P)} = 58,06 \times 10^9$ Дж / (прив. койку × год) и $R_{койка_пр}^{(ден)} = 37390$ руб. / (прив. койку × год).

Еще одним вариантом может быть нормирование на суммарное количество «койко-дней» ($S_{к-д}$), которые были использованы в стационарном МУ за год для «пролечивания» пациентов. В этом случае имеем показатели $R_{к-д}^{(\ominus P)}$ с размерностью [джоуль / (койко-день)] и $R_{к-д}^{(ден)}$ с размерностью [тыс. рублей / (койко-день)] в виде:

$$R_{к-д}^{(\ominus P)} = V^{(\ominus P)} / S_{к-д} \quad \text{и} \quad R_{к-д}^{(ден)} = V^{(ден)} / S_{к-д}, \quad (7)$$

где величины « R » соответствуют объемам использованных ресурсов. Для АМОКБ за 2014 г. при общем объеме обслуживания стационарных пациентов в 413257 койко-дней эти показатели составили $R_{к-д}^{(\ominus P)} = 0.179 \times 10^9$ Дж / (койко-день); $R_{к-д}^{(ден)} = 115$ руб. / (койко-день).

Нормированию расходов на энергоресурсы (только!) на количество «пролеченных» за год стационарных пациентов (СП) или, точнее, «случаев», т.к. один и тот же пациент может «пролечиваться» за год неоднократно, (ε) соответствуют показатели:

$$R_{случ.}^{(\ominus P)} = V^{(\ominus P)} / \varepsilon \quad \text{и} \quad R_{случ.}^{(ден)} = V^{(ден)} / \varepsilon. \quad (8)$$

Для АМОКБ при $\varepsilon = 43160$ имеем $R_{нац}^{(\ominus P)} = 1,71 \times 10^9$ Дж / случай; $R_{нац}^{(ден)} = 1100$ руб. / случай. Эти показатели косвенно учитывают и качество / эффективность лечения, т.к. недостатки в реализации медицинских технологий могут приводить удлинению сроков нахождения пациентов в стационарах. Подчеркнем, что для АМОКБ приведенные показатели – завышенные, т.к. оценки сделаны без учета обслуживания амбулаторных пациентов.

Для чисто амбулаторных МУ с целью оценки ЭЭ при нормировке на «количество посещений» пациентов будем иметь показатели $R_{III}^{(\ominus P)}$ с размерностью [джоуль / (человеко-посещение)] и $R_{III}^{(ден)}$ [рублей / (человеко-посещение)]. В стационарных МУ, имеющих амбулаторные отделения (например, клиничко-диагностические центры, обслуживающие и амбулаторных больных) для оценок ЭЭ целесообразно осуществлять «приведение» количеств

обслуженных «амбулаторных пациентов» к количествам «стационарных пациентов». Пусть средняя продолжительность обслуживания амбулаторного пациента за «человеко-посещение» (ЧП) составляет β часов, а количество таких ЧП за год – Ω . Тогда «амбулаторных пациентов» при расчетах можно приближенно учесть как «добавку» (A) к количеству «койко-дней», использованных для «стационарных пациентов»:

$$A = (\beta / 24)\Omega. \quad (9)$$

В этом случае вместо (7) будем иметь:

$$R_{k-\delta}^{(\text{ЭП})} = V^{(\text{ЭП})} / (S_{k-\delta} + A) \quad \text{и} \quad R_{k-\delta}^{(\text{ден})} = V^{(\text{ден})} / (S_{k-d} + A). \quad (10)$$

Показатели в знаменателях этих формул будем трактовать как «приведенные количества койко-дней» (ПККД).

Для АМОКБ количество ЧП амбулаторных пациентов в 2014 г. составило 173611. Приняв для простоты среднюю продолжительность их пребывания в МУ равной 1 часу (это можно считать завышенной оценкой, т.к. прием осуществлялся по заранее составленному графику), имеем $A = 7234$. При средней продолжительности «пролечения» СП в 9,6 суток и $\beta = 1$ одно ЧП амбулаторным пациентом по энергозатратам примерно соответствует 0,0043 пролечения одного СП.

Для АМОКБ имеем $R_{k-\delta}^{(\text{ЭП})} = 0,175 \times 10^9$ Дж / ПККД; $R_{k-\delta}^{(\text{ден})} = 113,1$ руб. / ПККД.

Аналогичные подходы возможны и для модификации ряда других рассмотренных выше показателей. В частности, вместо $R_{\text{нац}}^{(\text{Э})}$ и $R_{\text{нац}}^{(\text{ден})}$ по формуле (7) можно использовать показатели, соответствующие «приведенным» количествам пролеченных пациентов ($\varepsilon_{\text{иддд}}$):

$$\varepsilon_{\text{прив}} = \varepsilon + (\beta / (24d))\Omega, \quad (11)$$

где d – средняя продолжительность лечения (пребывания) «стационарных» пациентов (будем продолжать использовать термин «случай» – в МУ (дней). Для АМОКБ при $d = 9,6$ имеем $\varepsilon_{\text{иддд}} = 43906,6$. Тогда для показателей:

$$R_{\text{случ-пр}}^{(\text{ЭП})} = V^{(\text{ЭП})} / \varepsilon_{\text{прив}} \quad \text{и} \quad R_{\text{случ-пр}}^{(\text{ден})} = V^{(\text{ден})} / \varepsilon_{\text{прив}} \quad (12)$$

имеем $R_{\text{случ-пр}}^{(\text{ЭП})} = 1,68 \times 10^9$ Дж / (прив. случай); $R_{\text{нац-пр}}^{(\text{ден})} = 1080$ руб. / (прив. случай).

Для станций скорой медицинской помощи (СМП) целесообразно нормирование энергозатрат на один факт обслуживания (выезд): $R_{\text{обсл}}^{(\text{Э})}$ [джоуль / обслуживание] и $R_{\text{обсл}}^{(\text{ден})}$ [тыс. рублей / обслуживание]. По сравнению со стационарными и амбулаторными МУ выезд бригад СМП приводит к дополнительным расходам на моторное топливо, амортизацию автотранспорта и пр. За один «выезд» может (для уменьшения пробега автотранспорта) обслуживаться более одного пациента. С другой стороны, для СМП энергозатраты на использование МО и медицинские манипуляции малы.

Приведенные оценки для ГБУЗ АО АМОКБ за 2014 г. не учитывают, что на площадке МУ действует 18 базовых кафедр Астраханской государственной медицинской академии, потребляющих также ЭР.

Математическая модель для выбора оптимальных объемов потребления отдельных видов энергоресурсов. Пусть имеется J видов энергоресурсов, со стоимостями за «единицу ресурса» равными $\{\Theta_j\}_{j=1..J}$. Для простоты мы далее не будем учитывать следующие факторы: зависимости стоимостей энергоресурсов от объемов их потребления; изменения стоимостей видов ЭР во времени; инфляционные поправки – в виде коэффициентов дисконтирования для затрат и положительных эффектов. Примем, что коэффициенты, определяющие

«используемую (извлекаемую) энергию» из единицы энергоресурса, равны $\{\omega_j\}_{j=1\dots J}$. Для электрической и тепловой энергии эти коэффициенты целесообразно принять безразмерными и равными «1». Для ЭН они имеют размерности [джоуль / кг] и будут ниже значений, соответствующих теплотворным способностям топлива, которые приведены в предыдущем разделе – из-за несовершенства технологических процессов извлечения энергии.

Будем считать, что помимо текущего (нулевого) варианта, в котором никакие меры не принимаются, возможны еще «Q» вариантов мер. Они будут приводить к изменению для МУ энергопотребления – суммарного или отдельных видов. Расчетный период для периода планирования примем в «T» лет, причем в разных вариантах принятие мер может соответствовать разным годам.

Для каждого из вариантов мер возможны положительные и отрицательные эффекты в отношении качества обслуживания пациентов, надежности технологического процесса медобслуживания и пр. Обозначим набор изменений величин этих эффектов по отношению к «нулевому» варианту как $[E_{q,t}]_{q=0\dots Q; t=1\dots T}$ (для «нулевого» варианта эти эффекты, естественно, нулевые). Кроме того, для отдельных вариантов мер могут быть необходимы дополнительные затраты (например, строительство собственной котельной, усиление теплоизоляции зданий, установка стеклопакетов и пр.) – для «адаптации» МУ к измененной структуре видов и объемов потребляемых ЭР. Обозначим матрицу этих затрат как $[\Psi_{q,t}]_{q=0\dots Q; t=1\dots T}$. Оптимальным вариантом выбора будет, очевидно:

$$\max \left\{ \sum_{q=0\dots Q} \sum_{t=1}^T E_{q,t} - \sum_{t=1}^T \Psi_{q,t} - \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T (\theta_j W_{j,q,t}) \right\}, \quad (13)$$

где $W_{j,q,t}$ – объем потребления j -ого ЭР в t -ом году, соответствующий q -ому варианту выбора мер. Учет в (13) «нулевого» варианта (без принятия мер) обосновывается тем, что все рассматриваемые дополнительные варианты могут оказаться менее выгодными чем «нулевой».

Для всех учитываемых в (13) «1+Q» вариантов во все годы должны выполняться ограничения по общему количеству необходимой МУ энергии ($\Phi_t^{(\min-\Sigma)}$), получаемой по всем видам ЭР. Эти ограничения в общем случае индивидуальны для разных вариантов – в силу того, что принимаемые меры могут снижать общее энергопотребление:

$$\left[\sum_{j=1}^J (\omega_j W_{j,q,t}) \geq \Phi_{t,q}^{(\min-\Sigma)} \right]_{q=0\dots Q; t=1\dots T}. \quad (14)$$

Поскольку взаимозаменяемость ЭР обычно неполная, то необходимо также соблюдение ограничений по отдельным видам ЭР. В общем случае эти ограничения зависят от номера варианта мер и года, т.е. имеем матрицу $[\Phi_{q,j,t}^{(\min)}]_{j=1\dots J; q=0\dots Q; t=1\dots T}$. Поэтому должно выполняться:

$$[\omega_j W_{j,q,t} \geq \Phi_{q,j,t}^{(\min)}]_{j=1\dots J; q=0\dots Q; t=1\dots T}. \quad (15)$$

Рассмотренная модель позволяет учесть различные варианты изменения энергообеспечения МУ, включая меры по энергосбережению, строительство собственных котельных и пр. Обобщение модели по формулам (13) ... (15) возможно по различным направлениям – в т.ч. и с учетом ввода с течением времени в эксплуатацию новых зданий и, как следствие, объективного изменения потребностей МУ в ЭР.

Итак, сделаем **выводы**. 1. Уровни энергопотребления и ЭЭ являются важнейшими факторами, влияющими на показатели медико-экономической эффективности МУ; доступность и качество обслуживания пациентов. 2. Менеджмент ЭЭ деятельности МУ возможен путем сочетания различных юридических, организационно-административных и инженерно-технических решений. При этом особую важность имеют проектные решения в отношении зданий / сооружений МУ и инженерных коммуникаций на их территориях; управление режимами эксплуатации МО. 3. По результатам рассмотрения материала в статье предложен ряд конкретных мер по повышению ЭЭ деятельности МУ. 4. Для различных видов МО сравнены доли затрат на энергоресурсы в общих стоимостях владения ими. 5. Обоснована целесообразность использования набора показателей для количественной оценки ЭЭ работы МУ. Приведены примеры расчетов этих показателей для конкретного МУ. 6. Предложена математическая модель для оптимизации менеджмента ЭЭ деятельности МУ.

Список литературы

1. Акишкин В. Г., Брумштейн Ю. М., Захаров Д. А. Системный экономический анализ вопросов технической оснащенности медучреждений и эффективности использования в них оборудования / В. Г. Акишкин, Ю. М. Брумштейн, Д. А. Захаров // Экономика здравоохранения. – 2010. – № 151. – С. 52–58.
2. Артемова И. В. Энергоэффективность в условиях жары / И. В. Артемова // Советник бухгалтера бюджетной сферы. – 2013. – № 7 (127). – С. 68–82.
3. Брумштейн Ю. М. Анализ возможных подходов к оценке уровней оснащенности медоборудованием стационарных медучреждений / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Захаров, Ю. Ю. Аксенова // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2010. – № 11 (71). – С. 85–88.
4. Брумштейн Ю. М. Анализ и управление энергобезопасностью деятельности медицинских учреждений / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Захаров, И. А. Дюдилов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1. – С. 44–58.
5. Брумштейн Ю. М. Интеллектуальные ресурсы региона: системный анализ компонентной структуры, подходов к оценкам, моделей динамики / Ю. М. Брумштейн // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2014. – № 12 (139). – С. 52–57.
6. Брумштейн Ю. М. Системный анализ направлений и особенностей информатизации сферы здравоохранения России / Ю. М. Брумштейн, Е. В. Склиренко, А. С. Мальвина, Ю. Ю. Аксенова, А. Б. Кузьмина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 4. – С. 73–86.
7. Бутузов В. А. Перспективы развития солнечного теплоснабжения в России / В. А. Бутузов // Энергосбережение. – 2013. – № 6. – С. 76–79.
8. Давыдянец Д. Е. К определению понятий «энергосбережение» и «энергоэффективность» / Д. Е. Давыдянец, В. Е. Жидков, Л. В. Зубова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9, часть 6. – С. 1294–1296.
9. Давыдянец Д. Е. Энергосбережение и энергоэффективность в организациях: факторы, методическое обеспечение анализа / Д. Е. Давыдянец, В. Е. Жидков, И. Ю. Бринк, В. С. Ядыкин, Э. Ю. Джантотаева, В. Ф. Кривокрысенко, Ю. И. Шейченко, А. В. Жидков. – Москва – Ставрополь : Миракль ; Ставролит, 2013 – 40 с.
10. Ефремова Л. И. Роль информационных технологий в энергосбережении / Л. И. Ефремова // Проблемы современной экономики. – 2012. – № 6. – С. 120–124.
11. Кандырин Ю. В. Многокритериальное структурирование альтернатив в автоматизированных системах выбора / Ю. В. Кандырин, Л. Т. Сазонова, Г. Л. Шкурина, А. Д. Чивилев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 1. – С. 23–33.
12. Кишкина И. С. Договор энергоснабжения на розничном рынке / И. С. Кишкина // Законодательство. – 2006. – № 9. – С. 39–44.
13. Китаев Д. Н. Современные отопительные приборы и система теплоснабжения / Д. Н. Китаев, Т. В. Щукина // Энергосбережение. – 2012. – № 6. – С. 59–62.

14. Мальвина А. С. Автоматизация, диспетчеризация и информатизация высокотехнологичных медучреждений как средство повышения эффективности их работы / А. С. Мальвина, Ю. М. Брумштейн, Е. В. Складенко, А. Б. Кузьмина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 1. – С. 122–138.
15. Мингалеева Р. Д. Оценка технического потенциала ветровой и солнечной энергетики России / Р. Д. Мингалеева, В. С. Зайцев, В. В. Бессель // Территория Нефтегаз. – 2014. – № 3. – С. 84–92.
16. Мошин А. Ю. Экономико-математическая модель потребителя электроэнергии в условиях альтернативной энергетики / А. Ю. Мошин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2010. – № 7–8. – С. 63–72.
17. Наумов А. Л. Преобладающим источником теплоснабжения для коттеджей остаются индивидуальные котлы / А. Л. Наумов // Энергосбережение. – 2013. – № 6. – С. 30–33.
18. Панчук Н. Н. Энергоэффективность зеленых крыш в архитектуре городов / Н. Н. Панчук, А. С. Мелехина // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2014. – № 1. – С. 151–156.
19. Российская Федерация. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации от 23.11.2009 : федеральный закон № 261-ФЗ : [принят Государственной Думой 11 ноября 2009 г. ; одобрен Советом Федерации 18 ноября 2009 г.] // КонсультантПлюс. – Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=182747>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
20. Савин В. К. Архитектура и энергоэффективность зданий / В. К. Савин, Н. В. Савина // Градостроительство. – 2013. – № 1 (23). – С. 82–84.
21. Табунщиков Ю. А. Энергоэффективность зданий и сооружений. Новые своды правил / Ю. А. Табунщиков, Ю. В. Миллер // Энергосбережение. – 2013. – № 5. – С. 21–25.
22. Темукуев Т. Б. Энергоэффективность и экономическая целесообразность внедрения поквартирных систем отопления / Т. Б. Темукуев, А. М. Абитов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – № 3. – С. 100–107.
23. Фоменко Е. А. Использование тепловизоров при проведении энергоаудита / Е. А. Фоменко // Энергосбережение. – 2012. – № 5. – С. 59–63.
24. Щукина Т. В. Преобразование солнечной энергии для производства холода / Т. В. Щукина // Энергосбережение – 2012. – № 5. – С. 64–68.
25. Якубсон В. М. Энергоэффективность ограждающих конструкций зданий / В. М. Якубсон // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 8 (52). – С. 5–8.
26. Shuqin C. Энергопотребление зданий: методы анализа / C. Shuqin, Y. Hiroshi // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2015. – № 1. – С. 56–63.

References

1. Akishkin V. G., Brumshteyn Yu. M., Zakharov D. A. Sistemnyy ekonomicheskiy analiz voprosov tekhnicheskoy osnashchennosti meduchrezhdeniy i effektivnosti ispolzovaniya v nikh oborudovaniya [The system economic analysis of questions of technical equipment of medical institutions and efficiency of use of the equipment in them]. *Ekonomika zdravookhraneniya* [Health Care Economics], 2010, no. 151, pp. 52–58.
2. Artemova I. V. Energoeffektivnost v usloviyakh zhary [Power efficiency in a heat]. *Sovetnik bukhgaltera byudzhethnoy sfery* [The Adviser of the Accountant of the Budgetary Sphere], 2013, no. 7 (127), pp. 68–82.
3. Brumshteyn Yu. M., Zakharov D. A., Aksenova Yu. Yu. Analiz vozmozhnykh podkhodov k otsenke urovney osnashchennosti medoborudovaniem statsionarnykh meduchrezhdeniy [Analysis of possible approaches to an assessment of levels of equipment by medical equipment of stationary medical institutions]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh* [News of Volgograd State Technical University. Series. Actual Problems of Management, Computer Facilities and Informatics in Technical Systems], 2010, no. 11 (71), pp. 85–88.

4. Brumshteyn Yu. M., Zakharov D. A., Dyudikov I. A. Analiz i upravlenie energobezopasnostyu deyatelnosti meditsinskikh uchrezhdeniy [Analysis and management of power safety of medical institutions activity]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 1, pp.44–58.

5. Brumshteyn Yu. M. Intellekturnyye resursy regiona: sistemnyy analiz komponentnoy struktury, podkhodov k otsenkam, modeley dinamiki [Intellectual resources of the region: the system analysis of component structure, approaches to estimates, dynamics models]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh* [News of Volgograd State Technical University. Series. Actual Problems of Management, Computer Facilities and Informatics in Technical Systems], 2014, no. 12 (139), pp. 52–57.

6. Brumshteyn Yu. M., Sklyarenko Ye. V., Malvina A. S., Aksenova Yu. Yu., Kuzmina A. B. Sistemnyy analiz napravleniy i osobennostey informatizatsii sfery zdravookhraneniya Rossii [System analysis of the directions and features of informatization of health sector of Russia]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 4, pp. 73–86.

7. Butuzov V. A. Perspektivy razvitiya solnechnogo teplosnabzheniya v Rossii [Prospects of development of solar heat supply in Russia]. *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2013, no. 6, pp.76–79.

8. Davydyants D. Ye., Zhidkov V. Ye., Zubova L. V. K opredeleniyu ponyatiy «energoberezhenie» i «energoeffektivnost» [To definition of the concepts «energy saving» and «energy efficiency»]. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental Research], 2014, no. 9, part 6, pp. 1294–1296.

9. Davydyants D. Ye., Zhidkov V. Ye., Brink I. Yu., Yadykin V. S., Dzhantotaeva E. Yu., Krivokrysenko V. F., Sheychenko Yu. I., Zhidkov A. V. *Energoberezhenie i energoeffektivnost v oragizatsiyakh: faktory, metodicheskoe obespechenie analiza* [Energy saving and energy efficiency in the organizations: factors, methodical providing analysis], Moscow – Stavropol, Mirakl Publ., Stavrolit Publ., 2013. 40 p.

10. Yefremova L. I. Rol informatsionnykh tekhnologiy v energoberezhonii [Role of information technologies in energy saving]. *Problemy sovremennoy ekonomiki* [Problems of Modern Economics], 2012, no. 6, pp. 120–124.

11. Kandyrin Yu. V., Sazonova L. T., Shkurina G. L., Chivilev A. D. Mnogokriterialnoe strukturirovanie alternativ v avtomatizirovannykh sistemakh vybora [Multicriteria structuring of alternatives in automated choice systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 1, pp. 23–33.

12. Kishkina I. S. Dogovor energosnabzheniya na roznichnom rynke [Contract of power supply at the retail market]. *Zakonodatelstvo* [Legislation], 2006, no. 9, pp. 39–44.

13. Kitaev D. N., Shchukina T. V. Sovremennyye otopitelnye pribory i sistema teplosnabzheniya [Modern heating devices and system of heat supply]. *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2012, no. 6, pp. 59–62.

14. Malvina A. S., Brumshteyn Yu. M., Sklyarenko Ye. V., Kuzmina A. B. Avtomatizatsiya, dispatcherizatsiya i informatizatsiya vysokotekhnologichnykh meduchrezhdeniy kak sredstvo povysheniya effektivnosti ikh raboty [Automation, scheduling and informatization of hi-tech medical institutions as means of increase of efficiency of their work]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 1, pp. 122–138.

15. Mingaleeva R. D., Zaytsev V. S., Bessel V. V. Otsenka tekhnicheskogo potentsiala vetrovoy i solnechnoy energetiki Rossii [Assessment of technical potential of wind and solar power industry of Russia]. *Territoriya Neftegaz* [Oil and Gas Territory], 2014, no. 3, pp. 84–92.

16. Moshin A. Yu. Ekonomiko-matematicheskaya model potrebitelya elektroenergii v usloviyakh alternativnoy energetiki [Economic and mathematical model of electric power consumer in the conditions of alternative power engineering]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki* [News of Higher Educational Institutions. Power Problems], 2010, no. 7–8, pp. 63–72.

17. Naumov A. L. Preobladayushchim istochnikom teplosnabzheniya dlya kottedzhey ostayutsya individualnye kotly [The prevailing heat supply source for cottages are individual coppers]. *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2013, no. 6, pp. 30–33.

18. Panchuk N. N., Melekhina A. S. Energoeffektivnost zelenykh krysh v arkhitekture gorodov [Energy efficiency of green roofs in city architecture]. *Dalniy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa* [The Far East: Problems of Architectural and Construction Complex Development], 2014, no. 1, pp. 151–156.

19. Russian Federation. About energy saving and about increase of power efficiency and about modification of separate acts of the Russian Federation of November 23, 2009. The Federal Law no. 261-FZ. Adopted by the State Duma on November 11, 2009. Adopted by the State Duma on November 18, 2009. Available at: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=182747>.
20. Savin V. K., Savina N. V. Arkhitektura i energoeffektivnost zdaniy [Arkhitektura and energy efficiency of buildings]. *Gradostroitelstvo* [Town Planning], 2013, no. 1 (23), pp. 82–84.
21. Tabunshchikov Yu. A., Miller Yu. V. Energoeffektivnost zdaniy i sooruzheniy. Noveye svody pravil [Energy efficiency of buildings and constructions. New sets of rules]. *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2013, no. 5, pp. 21–25.
22. Temukuev T. B., Abitov A. M. Energoeffektivnost i ekonomicheskaya tselesoobraznost vnedreniya pokvartirnykh sistem otopleniya [Energy efficiency and economic expediency of apartment heating systems introduction]. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of Russian Academy of Sciences], 2010, no. 3, pp. 100–107.
23. Fomenko Ye. A. Ispolzovanie teplovizorov pri provedenii energoaudita [Use of thermal imagers during energy audit carrying out]. *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2012, no. 5, pp. 59–63.
24. Shchukina T. V. Preobrazovanie solnechnoy energii dlya proizvodstva kholoda [Transformation of solar energy for production of cold]. *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2012, no. 5, pp. 64–68.
25. Yakubson V. M. Energoeffektivnost ogradhdayushchikh konstruktsiy zdaniy [Energy efficiency of protecting designs of buildings]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal* [The Engineering and Construction Journal], 2014, no. 8 (52), pp. 5–8.
26. Shuqin C., Hiroshi Y. Energopotrebleniye zdaniy: metody analiza [Energy consumption of buildings: analysis methods]. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovaniye vozdukh, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika* [AVOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Construction Thermophysics], 2015, no. 1, pp. 56–63.